

دراسة الاستجابة الزلزالية للمباني البيتونية المسلحة باستخدام نظام عزل هجين

سحر محمود فارس^{1*} ريم سلمان الصحنائي²

^{1*} طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق. saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

² مديرة، دكتورة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق. reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تستخدم أنظمة العزل الزلزالي لتخفيض التسارعات والإزاحات الطابقية بالإضافة لقوى القص القاعدي مقارنة مع المنشأ من دون عزل، ويتم عادة استخدام أنظمة العزل التقليدية المطاطية والتي أثبتت فعاليتها في رفع كفاءة المباني زلزالياً، إلا إنه في حالات خاصة من المباني كالمباني العالية والمباني خفيفة الوزن يعتبر هذا العزل غير فعال، لذلك كان لا بد من البحث عن نظام عزل هجين فعال في تخفيض التسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي للأبنية العالية. يهدف البحث إلى دراسة أثر استخدام الأنظمة الهجينة المكونة من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمباني العالية تحت تأثير عدة هزات أرضية بالاستعانة ببرنامج ABAQUS وذلك بتغيير عدة بارامترات (تغيير ارتفاع المبنى، معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع، الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المرافقة). تم تقييم الأستجابة للمنشأ المعزول من خلال مقارنة الدور والتسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي مع المنشأ من دون عزل. وأظهرت النتائج فعالية نظام العزل الهجين في تقليل التسارعات والإزاحات الطابقية وتخفيض قوة القص القاعدي في الأبنية العالية، وأن تغيير معامل الاحتكاك للمسند الخطي المتقاطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المنشأ، وزيادة السعة للمسند المطاطية لم يؤثر بشكل ملموس على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية بالمقابل أدى إلى زيادة كمية الطاقة المبددة.

الكلمات المفتاحية: الأبنية العالية، العزل الهجين، المساند الخطية المتقاطعة، التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية.

تاريخ الإيداع: 2023/8/29

تاريخ القبول: 2023/11/28



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب CC BY-NC-SA

Studying the seismic response of reinforced concrete buildings using a hybrid isolation system

Sahar MAHMOUD FARES^{*1} Reem Salman ALSEHNAWI²

^{*1}. Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Damascus, Syria.

saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

². Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.

reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

Received: 29/8/2023

Accepted: 28/11/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Seismic isolation systems are used to reduce floor accelerations and displacements in addition to the base shear forces compared to the building without isolation. Traditional

rubber isolation systems are usually used, which have proven effective in raising the seismic efficiency of buildings. However, in special cases of buildings such as tall buildings and lightweight buildings, this isolation is considered It is not effective, so it was necessary to search for a hybrid isolation system that is effective in reducing the floor accelerations and displacements and the base shear forces of tall buildings. The research aims to study the effect of using hybrid systems consisting of cross linear bearings and rubber bearings in improving the seismic behavior of tall buildings under the influence of several earthquakes, using the ABAQUS program, by changing several parameters (change of building height, friction coefficient within the cross linear bearing, damping energy of rubber isolators accompaniment). The response to the isolated structure was evaluated by comparing the role, accelerations, floor displacements, and base shear forces with the structure without isolation. The results showed the effectiveness of the hybrid isolation system in reducing floor accelerations and displacements and reducing the base shear force in tall buildings, and that the change of the friction coefficient of the cross linear bearing had no effect on the response of the structure, increasing the capacity of the rubber bearing did not significantly affect the values of accelerations and drift ratio, on the contrary, it led to an increase in the amount of energy dissipated.

Key words: High Building, Hybrid Isolation, Cross Linear Bearing, Seismic Acceleration, story drift ratio.

المقدمة:

نُشرت العديد من الدراسات والأبحاث العالمية التي تتعلق بدراسة السلوك الزلزالي للمنشآت المزودة بالمساند المطاطية، حيث اقتصرت فعاليتها في تحسين الاستجابة الزلزالية للمباني المنخفضة والمتوسطة الارتفاع. نظراً لذلك اتجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل التقليدية المطاطية بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطية المتقاطعة، والتي وجد بأنها فعالة في المباني خفيفة الوزن والمباني العالية، حيث تتألف المساند الخطية المتقاطعة من صفيحة علوية وصفيحة سفلية وموجه خطي علوي وموجه خطي سفلي يتوضع بينهم رقائق مطاطية، حيث يتميز هذا العازل بمقاومته المنخفضة للاحتكاك وصلابته الأفقية المنخفضة والقدرة على تحمل أحمال الشد، بالإضافة إلى تأمين اهتزاز بأدوار كبيرة تصل إلى 4-3 ثواني حتى بالنسبة للمباني خفيفة الوزن، وتأمين حركة مستوية بالإتجاهين XY وبشكل كافي نتيجة لتعامد موجهي الحركة الأفقية. (Toniolo R, 2008)

درس (Fumiaki Arima et al 2000) تأثير العزل الزلزالي على استجابة مبنى بيتوني خفيف الوزن مكون من 5 طوابق أجرى مقارنة بين المبنى بدون عزل، والمبنى معزول بواسطة المساند الخطية المتقاطعة، تمت دراسة استجابة المبنى تحت تأثير هزة إيبارجي (M5.5, 1998)، بينت النتائج أن العزل الزلزالي أدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل كبير مقارنة مع المبنى بالحالة التقليدية.

أيضاً قام (Fumiaki Arimia et al 2000) بدراسة استجابة مبنى خشبي عبارة عن بيت سكني معزول بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية وأجرى مقارنة بين المبنى بدون عزل والمبنى معزول

بواسطة نظام العزل هجين، تمت دراسة استجابة المبنى الخشبي تحت تأثير هزة كوبي، حيث انخفضت قيم التسارع حوالي 90% في حالة القاعدة المعزولة.

(Fumiaki Arimia et al, 2000)

قام (Tomohiro Sasaki et al 2012) بدراسة تجريبية باستخدام طاولة الاهتزاز، حيث قام الباحث بإجراء اختبار لمبنى إطار فولاذي مكون من 5 طوابق وأجرى مقارنة بين المبنى مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من 4 مساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية و5 مساند خطية متقاطعة، والمبنى في حالة القاعدة بدون عزل. كانت أهم النتائج التي تم التوصل إليها تناقص قيم التسارع في المبنى المعزول مقارنة مع المبنى في حالة القاعدة الثابتة، كما شهدت حالة القاعدة الثابتة تضخيم استجابة يتجاوز الواحد ويتزايد مع ارتفاع الطوابق ولوحظ أيضاً أضرار في المكونات الغير الإنشائية في المقابل لم يلاحظ أي ضرر في أنظمة السقف أو الجدران الداخلية في حالة المبنى المعزول.

(Tomohiro Sasaki et al, 2012)

قدم (Keri L Ryan 2018) بحثاً تجريبياً حيث تناول البحث النموذج ذاته في الدراسة السابقة للباحث Tomohiro et al كان الهدف التحقق من صحة أداء المساند المطاطية في المباني خفيفة الوزن عند تعريضها إلى إزاحات كبيرة والتحقق من آلية نقل الاحمال المحورية من المساند المطاطية إلى المساند الخطية المتقاطعة. تم إثبات أن الاستجابة مستقرة لنظام العزل الهجين حيث أظهرت المساند المطاطية حلقات مستقرة والتي كانت المساند الخطية المتقاطعة فعالة في تثبيتها عند الإزاحات الكبيرة.

(Keri L Ryan, 2018)

قام (Yan-Shing Lin et al 2020) بإجراء اختبار لإطار خشبي خفيف الوزن مكون من 6 طوابق على طاولة الاهتزاز، تم إجراء الاختبار في حالة القاعدة ثابتة وقاعدة معزولة بواسطة نظام العزل المكون من مساند خطية متقاطعة المتصل بنظام EEW. حيث أثبت نظام عزل القاعدة الذكي المقترح فعاليته في تقليل الاستجابة بشكل كبير في جميع الزلازل المختبرة، وأدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل ملحوظ في حالة القاعدة المعزولة على مستوى الأرض ومستوى السطح.

(Yan-Shing Lin et al, 2020)

قدم (Vladimir Calugaru et al 2014) دراسة تحليلية لمبنى خرساني مكون من 20 طابق، وأجرى مقارنة بين المبنى في حالة القاعدة الثابتة، والمبنى مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية ومخمّدات سائلة لزجة، تمت دراسة استجابة المبنى تحت تأثير 14 هزة أرضية، شهد المبنى ذو القاعدة المعزولة استجابة مرنة على عكس المبنى ذو القاعدة الثابتة الذي طور تشوهات كبيرة وغير مرنة في الجدار، كما انخفضت نسبة إزاحة السقف في المبنى ذو القاعدة المعزولة حوالي 27% و 2.3%، أما نسبة الإزاحة بين الطوابق فقد انخفضت حوالي 90% و 81%، وانخفضت قيمة التسارع حوالي 76% و 74.7% على مستويات DE و MCE على التوالي مقارنة مع حالة القاعدة الثابتة.

(Vladimir Calugaru et al, 2014)

2- مشكلة وأهمية البحث:

تستخدم مساند العزل المطاطية كنوع من أنواع العزل القاعدي وبالرغم من فعالية هذه المساند في رفع كفاءة المباني زلزالياً إلا أنّ لديها محدوديات في حالات خاصة من المباني كالمباني العالية والمباني خفيفة الوزن، حيث إن هذه العوازل تعمل ضمن مجال ترددي

عالي وفي الأبنية العالية يكون التردد منخفض بشكل واضح أحياناً وبالتالي يفقد العازل المطاطي فعاليته. نظراً لذلك اتّجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل التقليدية المطاطية بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطية المتقاطعة والتي وجد بأنّها فعّالة في تحسين الاستجابة الزلزالية للمباني العالية والمباني خفيفة الوزن. ومن هنا تأتي أهمية البحث من قدرة نظام العزل الهجين المكون من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تبديد أكبر قدر ممكن من الطاقة الزلزالية والحفاظ على استقرار المنشأ، وتقليل التسارعات والإزاحات الطبقية في المباني العالية.

3- أهداف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة فعالية استخدام الأنظمة الهجينة المكونة من المساند الخطية المتقاطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمباني العالية بتغيير عدة بارامترات:

1. تغيير ارتفاع المبنى تحت تأثير عدة هزات أرضية.
2. تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع ضمن المسند المتقاطع بتطبيق زلزال كوبي.
3. الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المراقبة بتطبيق زلزال كوبي.

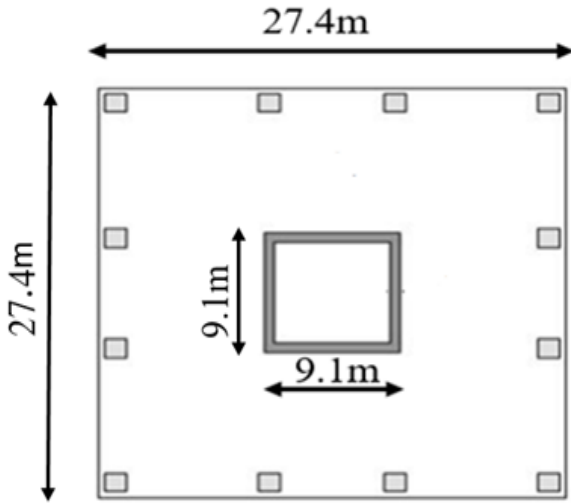
4- مواد البحث وطرقه:

4-1- توصيف المبنى المدروس:

إن المبنى المدروس عبارة عن مبنى عالي من البيتون المسلح، حيث يبين الشكل (1) المسقط الأفقي لطابق مكرر، إذ اعتمد هذا المسقط في كافة نماذج الدراسة التحليلية البارامترية، وتبين الجداول (1) و (2) خصائص المواد المستخدمة ومواصفات البناء المدروس، على التوالي، ويبين الجدول (3) الهزات الزلزالية التي خضع لها المبنى.

الجدول (1) خصائص المواد المستخدمة

TCU68		0.45	0.67
TCU87	Chi-Chi, Taiwan, 1999, M7.6	1.06	1.59
TCU101		1.35	2.02
TCU102		1.52	2.29
TCU103		1.67	2.5
Yarimca	Kocaeli, Turkey, 1999, M7.4	0.75	1.12



الشكل (1) مسقط الطابق المدروس

4-2- نمذجة المبنى:

بُنِي النموذج على برنامج Abaqus، الجملة الإنشائية للبناء عبارة عن جملة إطارية جدارية تمت نمذجة الجوائز والأعمدة باستخدام العنصر الفراغي B31، ونمذجة البلاطات والجدران باستخدام العنصر الصفائحي (S4R)، ربطت كافة العناصر (الإطارية، الصفائية) عند نقاط التقائها فيما بينها ربطاً تاماً بحيث ترتبط كافة درجات الحرية بشكل كامل. وتمت نمذجة البلاطات باعتماد فرضية الحجاب الطائقي ذو الصلادة المحددة بحيث تؤخذ تشوهات البلاطة بعين الاعتبار أثناء التحليل الديناميكي تحت تأثير الهزات الزلزالية على المنشأ.

$F_c=48\text{MPa}$	إجهاد الضغط للبيتون
$E_c=40183.58\text{MPa}$	معامل مرونة البيتون
$\nu_{\text{concret}}=0.2$	معامل بواسون للبيتون
$\gamma_c=24\text{kN/m}^3$	الوزن الحجمي للبيتون
$F_y=414\text{MPa}$	حد السيلاّن لفولاذ التسليح الطولي
$F_{ys}=250\text{MPa}$	حد السيلاّن لفولاذ التسليح العرضي
$E_{st}=200000\text{MPa}$	معامل مرونة الفولاذ
$\gamma_{st}=78\text{kN/m}^3$	الوزن الحجمي للفولاذ
$\nu_{\text{steel}}=0.3$	معامل بواسون للفولاذ

الجدول (2) خصائص العوازل

المسند المطاطي (LRB)	
K_{eff}	1400 kN/m
K_1	7350 kN/m
α	10%
المسند المطاطي منخفض التخماد	
K_1	1130 kN/m
المسند الخطي المتقاطع	
μ	0.003

الجدول (3) الهزات الزلزالية

Station name	Earthquake Location, year, Magnitude	DE	MCE
Duzce	Duzce, Turkey, 1991, M7.1	0.78	1.18
El Centro Array#6	Imperial, CA, 1979, M6.5	1.48	2.22
Lucerne	Landers, CA, 1992, M7.3	0.31	0.47
Tabas	Tabas, Iran, 1978, M7.4	0.27	0.4
Takatori	Kobe, Japan, 1995, M6.9	0.67	1
TCU52		0.67	1
TCU67		1.67	2.5

4-3- مراحل الدراسة:

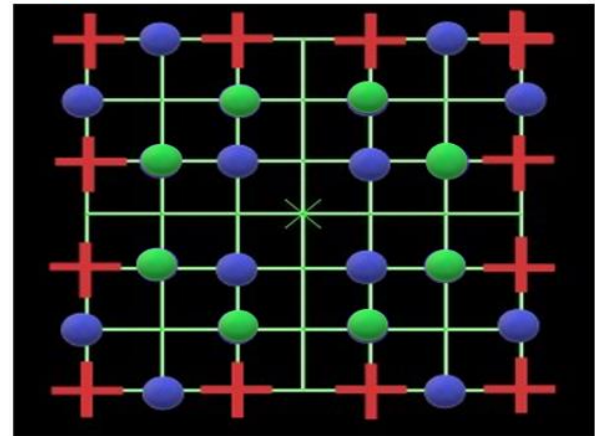
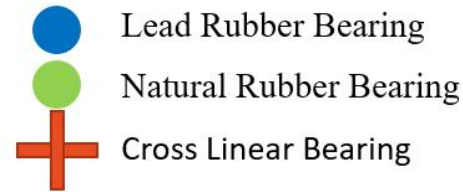
تمت الدراسة على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

تم اعتبار المباني المدروسة موثوقة من الأسفل (حالة النموذج الشائع)، حيث تم تحليل المباني باستخدام طريقة التحليل الديناميكي اللاخطي.

المرحلة الثانية:

تم اعتبار المباني معزولة بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية ويوضح الشكل (2) أماكن توزيع العوازل، ومن ثم إعادة التحليل الديناميكي.



الشكل (2) أماكن توزيع العوازل

5- الدراسة التحليلية:

تم نمذجة المبنى و دراسة السلوك الديناميكي من خلال أخذ البارامترات التالية بعين الاعتبار:

1. تغيير ارتفاع الطوابق 25 - 30 - 35 طابق وذلك تحت تأثير 13 هزة أعظمية وتصميمية عالية الشدة.

2. تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند المتقاطع

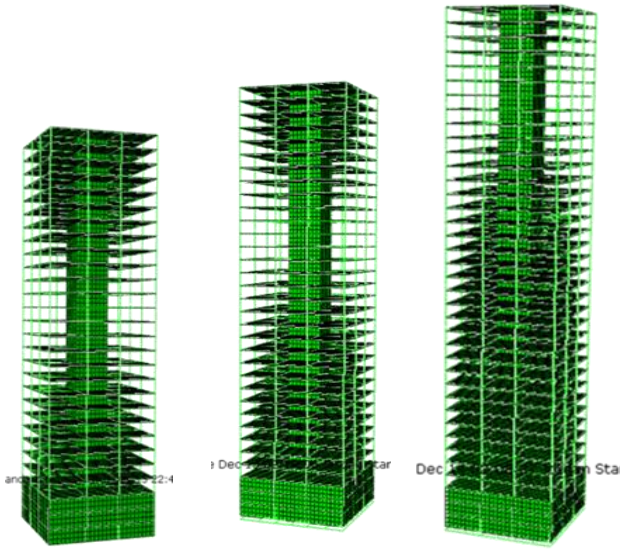
بتطبيق زلزال كوبي.

3. تغيير الطاقة التخمدية للمساند المطاطية بتطبيق

زلزال كوبي.

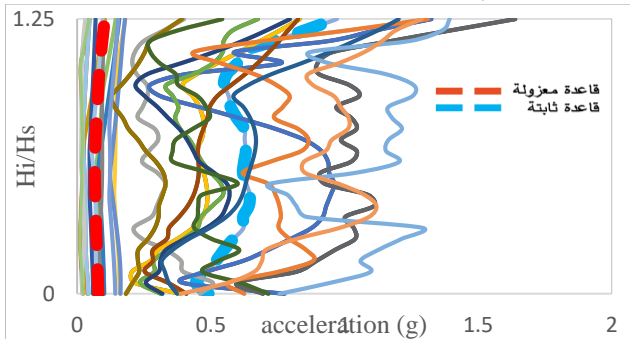
5-1- تغيير ارتفاع الطوابق:

تم دراسة الاستجابة الزلزالية في المباني والتمثلة في (الدور، التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية، القص القاعدي) وتم مقارنة نتائج حالة المنشأ الموثوق وحالة المنشأ المعزول.



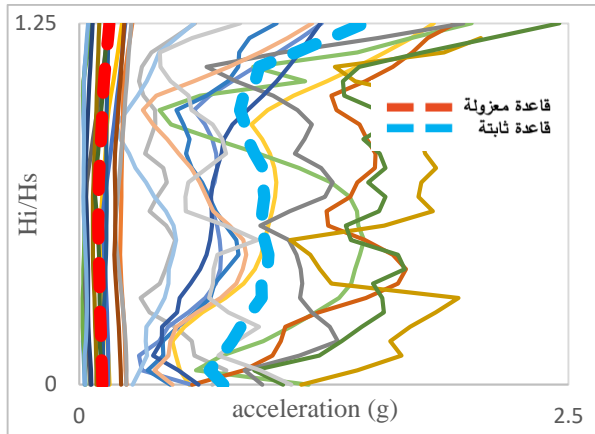
الشكل (3) المباني بالشكل ثلاثي الأبعاد

يبين الجدول (4) مقارنة قيم دور الاهتزاز للمباني الموثوقة والمباني المعزولة.

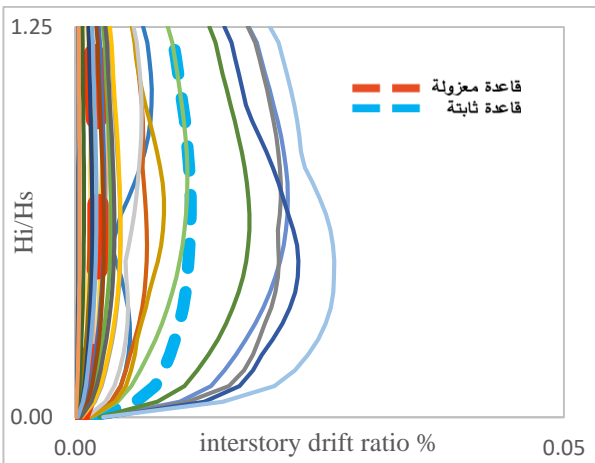


الشكل (4) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 2.5 طابق.

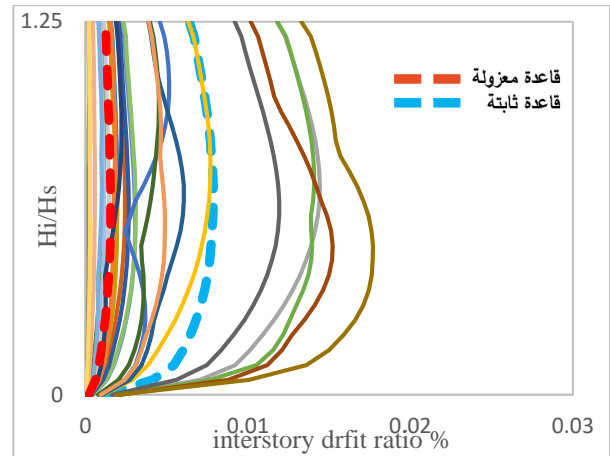
و0.0012% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80%.



الشكل (6) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.



الشكل (7) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق. يظهر الشكل (6) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.45g في حالة المبنى الموثوق و0.15g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.45%. أما الشكل (7) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر)



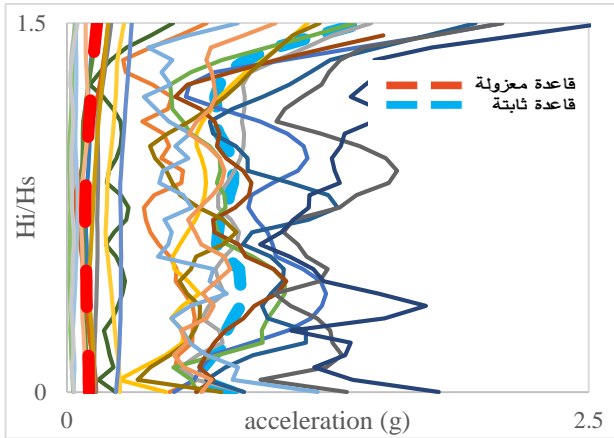
الشكل (5) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 25 طابق.

الجدول (4) قيم دور الاهتزاز

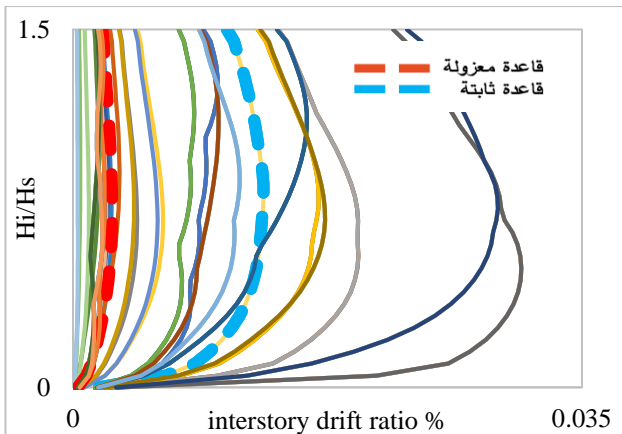
	25 طابق	30 طابق	35 طابق
القاعدة الثابتة	1.98sec	2.41sec	2.96sec
القاعدة المعزولة	2.06sec	2.63sec	3.26sec

يوضح الشكل (4) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق (يعبر المحور الشاقولي عن الارتفاع الطائفي H_i مقسوماً على الارتفاع الكلي للمبنى H_s)، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.97g في حالة المنشأ الموثوق و0.1g في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 89%. ويبين الشكل (5) مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0064% في حالة المنشأ الموثوق

حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.945g في حالة المبنى الموثوق و0.0948g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89% . أما الشكل (9) يبين مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0071% في حالة المنشأ الموثوق و 0.00135% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80%.

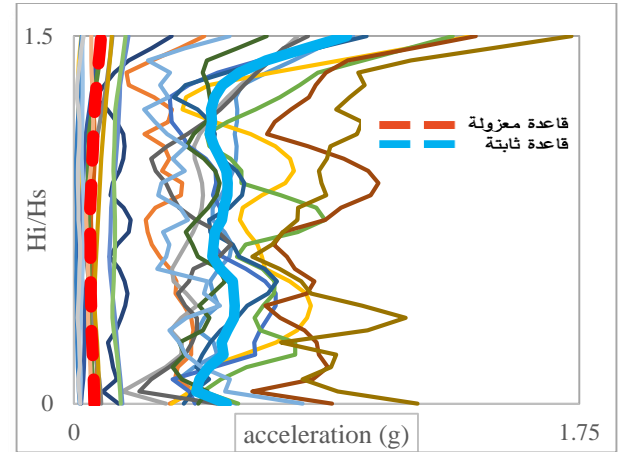


الشكل (10) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.

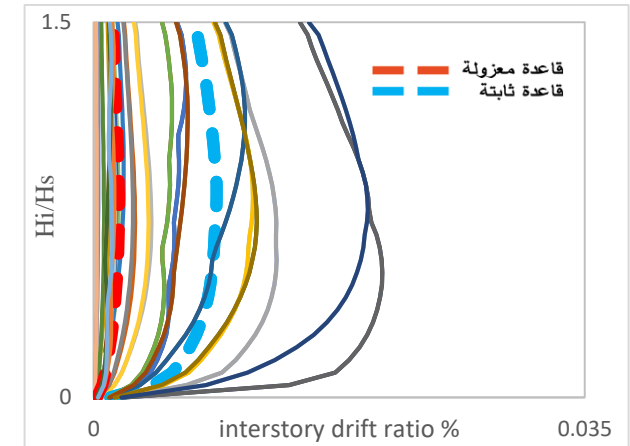


الشكل (11) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.

في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0096% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0018% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 81%.

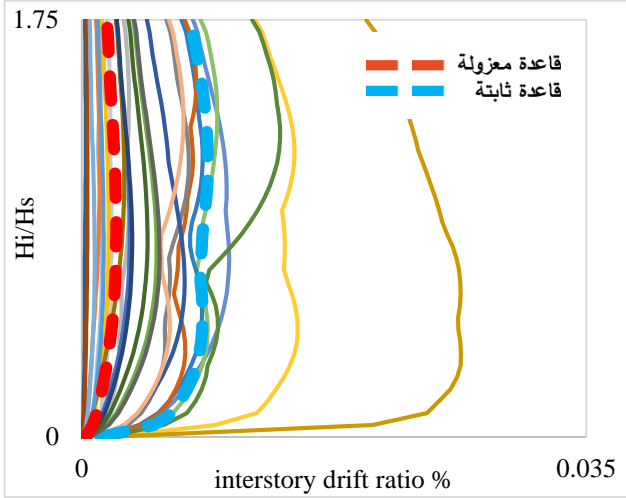


الشكل (8) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.

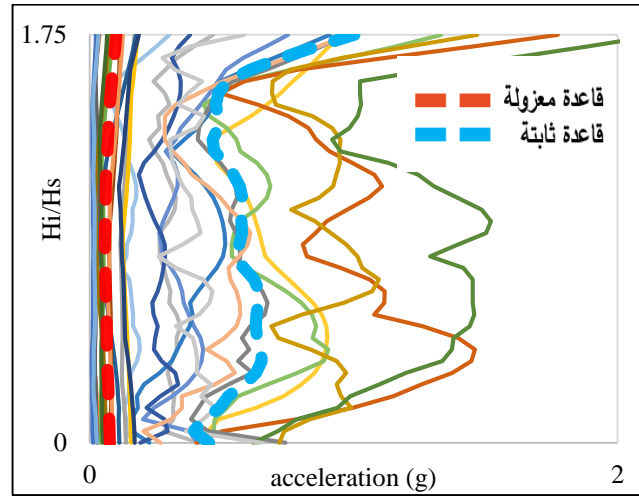


الشكل (9) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 30 طابق.

يظهر الشكل (8) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع)



يظهر الشكل (10) التسارع الزلزالي لجميع الهزات الأعظمية التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.416g في حالة المبنى الموثوق و0.14g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.9%. أما الشكل (11) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.01059% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0020% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80.88%.



الشكل (13) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق. يظهر الشكل (12) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1g في حالة المبنى الموثوق و0.1g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.98%. أما الشكل (13) يبين مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0074% في حالة المنشأ الموثوق و 0.00173% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 77%.

الشكل (12) التسارع الزلزالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.

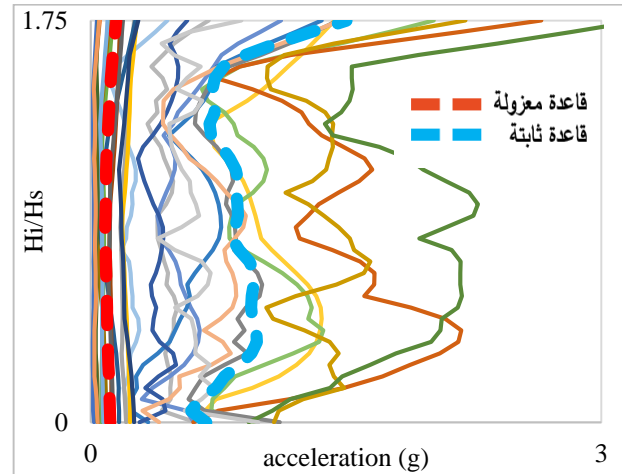
المبنى المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.011% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0025% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 76.6%.

يبين الجدول (5) مقارنة قيم التسارع والإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهزة TCU67 عند تغيير ارتفاع الطوابق لكل من حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة.

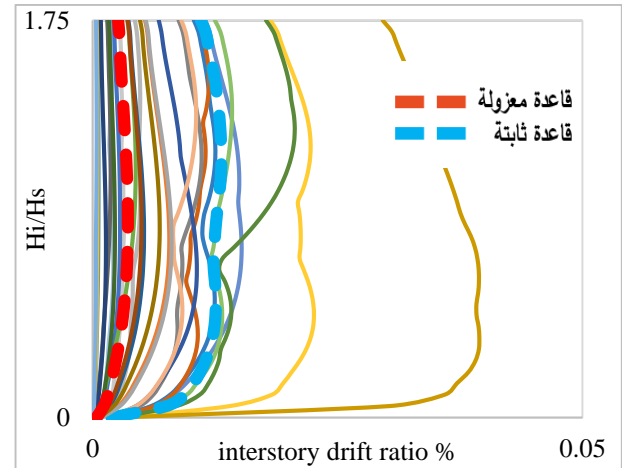
الجدول (5) نتائج قيم التسارع والإزاحة لهزة TCU67.

الفرق النسبي	التسارع في حالة القاعدة المعزولة	التسارع في حالة القاعدة الثابتة	
96%	0.67	16.07	25 طابق
94%	0.98	16.90	30 طابق
91%	1.824	21.20	35 طابق
الفرق النسبي	الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة المعزولة	الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة الثابتة	
93%	0.00089	0.013	25 طابق
91%	0.0013	0.015	30 طابق
71%	0.0032	0.011	35 طابق

تبين الجداول (6-7-8) مقارنة قيم القص القاعدي للهزات التصميمية للمباني المؤلف من 25 و 30 و 35 طابق على التوالي.



الشكل (14) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق.



الشكل (15) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبنى الموثوق والمبنى المعزول في حالة 35 طابق. يظهر الشكل (14) التسارع الزلزالي عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة المبنى المعزول للمبنى المؤلف من 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.5g في حالة المبنى الموثوق و 0.15g في حالة المبنى المعزول أي انخفضت حوالي 89.99% . أما الشكل (15) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوي كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبنى الموثوق وحالة

الجدول (6) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 25 طابق.

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	42070492.2	10717800	75%
El Centro	82560752	16698900	80%
Lucerne	14676174	1357820	91%
Tabas	17008968	942752	94%
Takatori	82145613	4333560	95%
TCU52	66430228	2799010	96%
TCU67	85087604	6964720	92%
TCU68	46464045	19600800	58%
TCU87	15251176	3431290	78%
TCU101	46916555	13656700	71%
TCU102	77230560	20830700	73%
TCU103	33535495	6770050	80%
Yarimca	41751342	12414600	70%

الجدول (7) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 30 طابق.

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	50553242	1241240	98%
\El Centro	87896035	14634900	83%
Lucerne	15651798	2432570	84%
Tabas	15711160	1103200	93%
Takatori	53368122	4478620	92%
TCU52	59373543	2977740	95%
TCU67	81573960	8097390	90%
TCU68	64401358	23132100	64%
TCU87	10812552	3634580	66%
TCU101	45924426	14470100	68%
TCU102	73683688	21588200	71%
TCU103	47445067	7189760	85%
Yarimca	41739663	10847200	74%

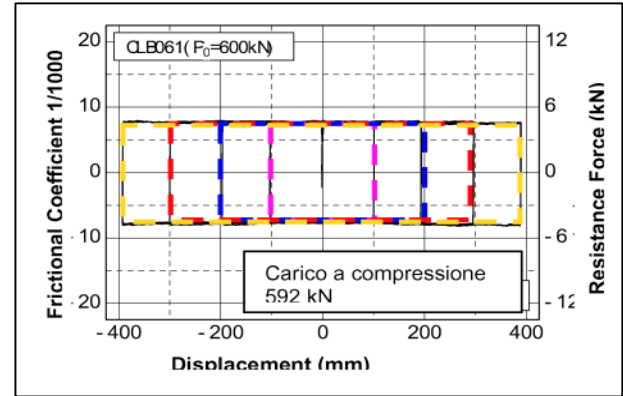
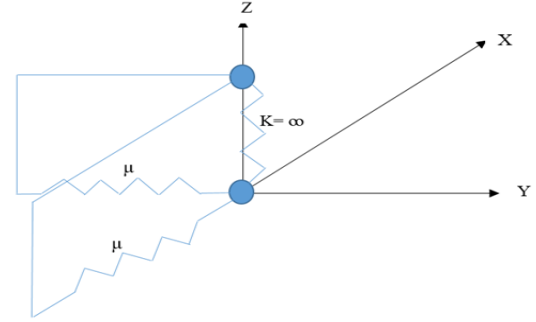
الجدول (8) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 35 طابق

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	68095981	1290000	%98
ElCentro	85097534	13263800	%84
Lucerne	21515117	1309850	%94
Tabas	23521830	1105530	%95
Takatori	70876652	3436120	%95
Tcu52	40832895	3765310	%91
TCU67	85544527	20242700	%76
TCU68	54149346	24926700	%54
TCU87	14826840	3781910	%74
TCU101	63647124	15113800	%76
TCU102	87060982	21509700	%75
TCU103	45572681	7973520	%83
Yarimca	57029195	8608220	%85

5-2- تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع:

لمعرفة تأثير تغيير قيمة معامل الاحتكاك، تم دراسة سلوك المنشأ للمبنى المؤلف من 25 طابق تحت تأثير هزة كوبي فقط وتم اختيار هذه الهزة لا على التعيين، حيث تتراوح قيمة معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع (0.002~0.003).

(<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw514q0b8Uz>)



الشكل (16) النموذج الرياضي للعازل الخطي المتقاطع وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات

يوضح الشكل (16) النموذج الرياضي للمسند الخطي المتقاطع المتمثل بـ K و μ ، وسلوك العازل المتمثل بعلاقة القوى-الانتقال وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F = \mu p$$

حيث

F : قوة مقاومة الاحتكاك

μ : معامل الاحتكاك

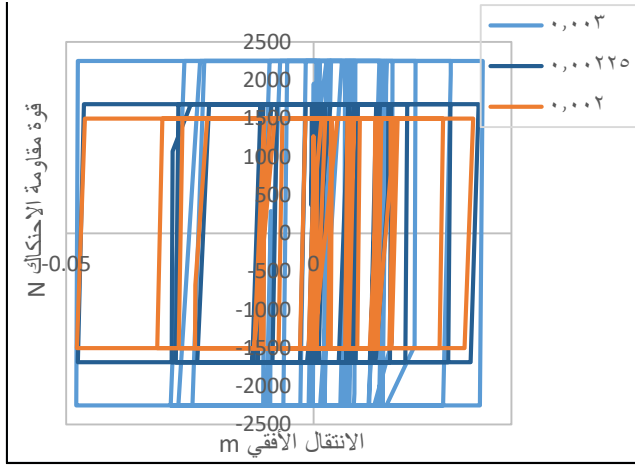
p : الحمل المطبق

تم دراسة حالتين لتغيير معامل الاحتكاك ومقارنتها مع الحالة الأساسية (0.003):

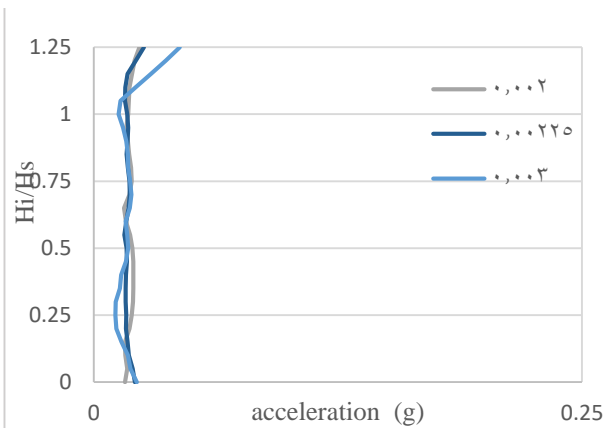
a. 0.00225

b. 0.002

حيث يوضح الشكل (17) سلوك المسند الخطي المتقاطع لحالات تغيير معامل الاحتكاك.



الشكل (17) العلاقة بين قوة مقاومة الاحتكاك - الانتقال للمسند الخطي المتقاطع

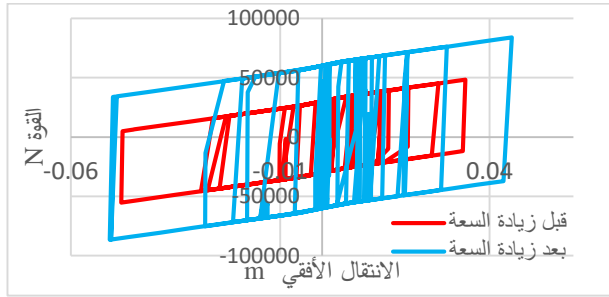


الشكل (18) التسارع الزلزالي على كامل ارتفاع المبنى تحت تأثير هزة كوبي

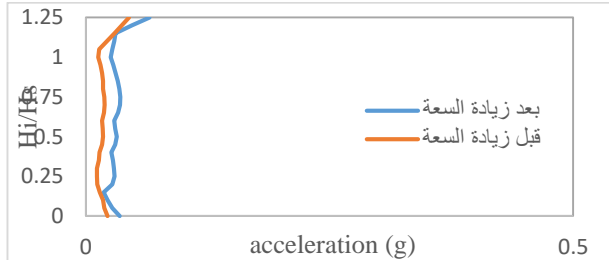
الجدول (9) مواصفات العازل المطاطي

المسند المطاطي (LRB)	بعد زيادة السعة	قبل زيادة السعة
K_{eff}	2100kn/m	1400 kN/m
K_1	13000Kn/m	7350kN/m
α	10%	10%

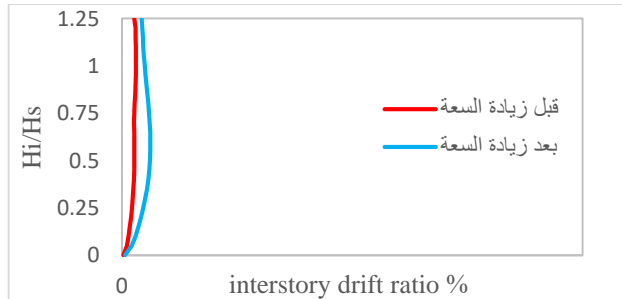
يوضح الشكل (21) علاقة القوى-الانتقال للمسند المطاطي قبل وبعد زيادة السعة نلاحظ ازدياد كمية الطاقة المبذوبة بازدياد السعة.



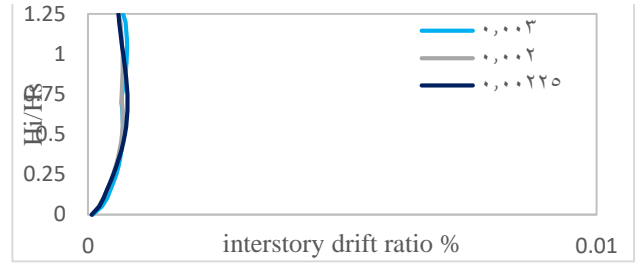
الشكل (21) علاقة القوى - الانتقال للمسند المطاطي



الشكل (22) التسارع الزلزالي على كامل ارتفاع المبنى



الشكل (23) الإزاحة الطابقية النسبية على كامل ارتفاع المبنى



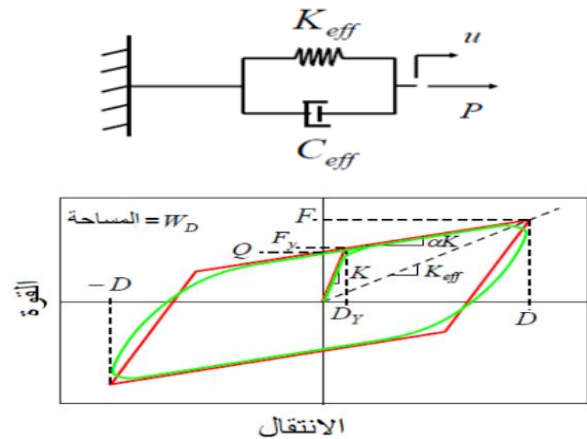
الشكل (19) الإزاحة الطابقية النسبية على كامل ارتفاع المبنى تحت تأثير هزة كوبي

تبين الأشكال (19-20) مقارنة قيم التسارع والإزاحة الطابقية النسبية للمبنى المؤلف من 25 طابق عند تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع تحت تأثير هزة كوبي، ونلاحظ أن تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المبنى.

5-3- الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية:

تم زيادة الطاقة التخميدية للمساند المطاطية من خلال تغيير المواصفات للعازل المطاطي كما هو مبين في الجدول (9)، حيث يبين الشكل (20) النموذج الرياضي الخطي للعازل المطاطي وخواصه المتمثلة بـ C_{eff} & k_{eff} ، سلوك العازل المتمثل بالعلاقة بين قوة القص (F)، والانتقال للمسند المطاطي (D).

(حسن، هالة . 2016)



الشكل (20) النموذج الرياضي الخطي للعازل المطاطي وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات

نلاحظ من الأشكال (22-23) أن زيادة سعة المساند المطاطية لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية النسبية بشكل ملموس.

6- الاستنتاجات:

- 1- ازدياد قيمة الدور في حالة المباني المعزولة مقارنة مع المباني من دون عزل.
- 2- نقصان قيمة كل من (التسارعات - الإزاحات الطابقية - قوى القص) في المباني المعزولة مقارنة مع المباني من دون عزل.
- 3- بلغ النقصان عند أخذ الفرق النسبي لقيم التسارع بين حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة لهزة TCU67 في الطابق الأخير 96% و 94% و 91% في المباني 25 و 30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطى نتائج الهزات بلغ النقصان (89%) في الطابق الأخير في جميع المباني.
- 4- بلغ النقصان في الإزاحات الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهزة TCU67 93% و 91% و 71% في المباني 25 و 30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطى نتائج الهزات فقد بلغ النقصان (80%) في المباني 25 و 30 و 76.6% لحالة 35 طابق.
- 5- انخفضت قوى القص ضمن المباني المعزولة حوالي 81% عند أخذ متوسط نتائج الهزات مقارنة مع المباني الموثوقة.

6- إن تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطي المتقاطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المبنى.

7- بما أن تبديل بعض المخدمات بأخرى ذات سعة أكبر لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية بشكل ملموس فإن وضع المخمد ذو السعة المناسبة في المكان المناسب سيكون أكثر اقتصادية.

7- التوصيات والأعمال المستقبلية:

-دراسة ظاهرة الشد التي يمكن أن تظهر في المساند المطاطية ذات المقاومة الضعيفة له وخصوصاً عند المساند الطرفية والركنية في الأبنية العالية ومقارنتها مع سلوك المساند الخطية المتقاطعة التي تقاوم الشد بكفاءة.

- دراسة برامترية لاكتشاف ارتفاع المباني الفعال للمساند الخطية المتقاطعة (ارتفاعات عالية تفوق الارتفاعات التي تعتمد على مساند مطاطية بسبب فعالية المساند المتقاطعة عند التواترات المنخفضة.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

- [1]- هالة توفيق حسن. 2016. تحسين سلوك الأبنية العالية باستخدام نظام العزل القاعدي الهجين و مخدمات الاحتكاك الدورانية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، مج. 32، ع. 1، ص ص. 39-50. <https://search.emarefa.net/detail/BIM>
- 874312
- [2]- Toniolo, R. (2008, July). THK: CLB crossed Linear Bearing Seismic Isolators. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1020, No. 1, pp. 1483- 1492). American Institute of Physics.
- [3]- ARIMA, F., SUZUKI, T., TAKASE, N., & HARADA, H. (2000). A development of a new technology for base-isolated buildings using crossed linear bearings. In Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering.
- [4]- Sasaki, T., Sato, E., Ryan, K. L., Okazaki, T., Mahin, S. A., & Kajiwara, K. (2012, September). NEES/E-defense base-isolation tests: effectiveness of friction pendulum and lead-rubber bearing systems. In Proceedings of the 15th World Conference of Earthquake Engineering
- [5]- Ryan, K. L., Okazaki, T., Coria, C. B., Sato, E., & Sasaki, T. (2018). Response of hybrid isolation system during a shake table experiment of a full-scale isolated building. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 47(11), 2214-2232
- [6]- Calugaru, V., & Panagiotou, M. (2014). Seismic response of 20-story base-isolated and fixed-base reinforced concrete structural wall buildings at a near-fault site. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 43(6), 927-948.
- [7]- Lin, Y. S., Chan, R. W., & Tagawa, H. (2020). Earthquake early warning-enabled smart base isolation system. Automation in Construction, 115, 103203.
- [8]
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw514q0b8Uz> , Thk